

# Quasioptical modeling of wave beams with and without mode conversion

Kota Yanagihara<sup>1</sup>, Ilya Y. Dodin<sup>2</sup>, Shin Kubo<sup>1,3</sup>, and Toru I. Tsujimura<sup>3</sup>

1. Nagoya University, 464-8601, Nagoya, Aichi, Japan

2. Princeton Plasma Physics Laboratory, Princeton, New Jersey, 08543, USA

3. National Institute for Fusion Science, 509-5292, Toki, Gifu, Japan

電子サイクロトロン共鳴加熱、及び電流駆動の正当な評価、制御には、入射した波動パワーによるプラズマの加熱吸収分布を高精度に予測する事が重要であり、したがって電子サイクロトロン波 (ECW) の正確なモデリングが求められている。幾何光学的なレイトレーシング [1] は光線に近似された波動の伝搬を屈折を考慮して計算する手法であり、これまで ECW のモデリングに幅広く用いられてきた手法であるが、光線周りの波束の構造を、特にビームの焦点近傍において正しく記述する事が原理的に困難であった。そこでその拡張として、回折を考慮する事で波束の発展まで記述する準光学的な手法 [2, 3, 4] が数多く提案され、それらは加熱吸収分布の予測精度向上に貢献してきた。しかし磁気シアを持つ低密度プラズマ、すなわち核融合プラズマ周辺領域において起こり得る、入射波動を構成する 2 つのモード間での相互作用 (線形モード変換) を回折と同時に考慮したモデルはこれまで存在しなかった。入射 ECW の偏波状態によって励起されるモードの純度は異なり、またそれらは周辺プラズマ中を伝搬する過程で非自明に変化してから中心プラズマへと入射する。したがって中心プラズマにおける目的モードの高純度励起の為にはモード間相互作用を考慮したモデルが必要である。近年、光線の屈折とモード変換を同時に扱える理論、拡張幾何光学 [5, 6] が提案され、その更なる拡張理論は回折をも同時に扱えるようになった [7]。本研究会では、この新しい理論に基づき開発した準光学コード、*PARADE* (PARaxial RAY DEscription)[8, 9] を紹介する。非一様磁化プラズマ中において、モード変換を考慮し、準光学的に伝搬する波動の初めての数値計算結果を報告する。またその応用として、大型ヘリカル装置における電子サイクロトロン共鳴加熱実験のシミュレーションに適用した例 [10] についても合わせて紹介する。

- 
- [1] E. R. Tracy, A. J. Brizard, A. S. Richardson, and A. N. Kaufman, *Ray Tracing and Beyond: Phase Space Methods in Plasma Wave Theory* (Cambridge University Press, New York, 2014).
  - [2] A. A. Balakin, M. A. Balakina, and E. Westerhof, *ECRH power deposition from a quasi-optical point of view*, Nucl. Fusion **48**, 065003 (2008).
  - [3] E. Poli, A. Bock, M. Lochbrunner, O. Maj, M. Reich, A. Snicker, A. Stegmeir, F. Volpe, N. Bertelli, R. Bilato, G. D. Conway, D. Farina, F. Felici, L. Figini, R. Fischer, C. Galperti, T. Happel, Y. R. Lin-Liu, N. B. Marushchenko, U. Mszanowski, F. M. Poli, J. Stober, E. Westerhof, R. Zille, A. G. Peeters, and G. V. Pereverzev, *TORBEAM 2.0, a paraxial beam tracing code for electron-cyclotron beams in fusion plasmas for extended physics applications*, Comput. Phys. Commun. **225**, 36 (2018).
  - [4] D. Farina, *A quasi-optical beam-tracing code for electron cyclotron absorption and current drive: GRAY*, Fusion Sci. Tech. **52**, 154 (2007).
  - [5] I. Y. Dodin, D. E. Ruiz, and S. Kubo, *Mode conversion in cold low-density plasma with a sheared magnetic field*, Phys. Plasmas **24**, 122116 (2017).
  - [6] D. E. Ruiz and I. Y. Dodin, *Extending geometrical optics: A Lagrangian theory for vector waves*, Phys. Plasmas **24**, 055704 (2017).
  - [7] I. Y. Dodin, D. E. Ruiz, K. Yanagihara, Y. Zhou, and S. Kubo, *Quasioptical modeling of wave beams with and without mode conversion: I. Basic theory*, arXiv:1901.00268.
  - [8] K. Yanagihara, I. Y. Dodin, and S. Kubo, *Quasioptical modeling of wave beams with and without mode conversion: II. Numerical simulations of single-mode beams*, to be submitted.
  - [9] K. Yanagihara, I. Y. Dodin, and S. Kubo, *Quasioptical modeling of wave beams with and without mode conversion: III. Numerical simulations of mode-converting beams*, to be submitted.
  - [10] K. Yanagihara, S. Kubo, T. I. Tsujimura, and I. Y. Dodin, *Mode purity of electron cyclotron waves after their passage through the peripheral plasma in the Large Helical Device*, submitted to Plasma Fusion Res..